

单色光石英退偏器的退偏机理及性能研究

吴福全 李国华 黄家寅 封太忠 代作晓

(曲阜师范大学激光研究所, 曲阜 273165)

提要 研究了单色光石英退偏器的退偏机理, 定义了退偏度作为衡量退偏器性能的物理量。从实验上在 440~920 nm 的光谱范围测试了器件的退偏度, 结果表明: 只要器件的结构角适当, 或者适当调节入射光束的截面大小, 便可对某一单色线偏振光实现很好的退偏。

关键词 单色光石英退偏器, 退偏度

1 引言

在激光功率测量、光谱辐射测量等凡是涉及偏振光的定量探测中, 通常由于光源的偏振特性^[1,2]与光探测器具有的偏振灵敏性^[3]相互影响, 而产生显著的测量误差。消除偏光测量中的这种误差, 极为有效的方法是在光探测器前面使用退偏器。

产生偏振光的方法很多, 但是一旦获得却不易消除, 尤其是对单色线偏振光的退偏更难。关于退偏器的报道已有不少^[4~8], 文献[7,8]研究的单色光退偏器, 均是利用单轴晶体的双折射特性, 使入射光束截面上的不同点通过双折射晶体后, 产生不同的相位延迟而使线偏振光退偏。这类退偏器, 在使用中需要首先调整器件的晶体光轴, 使其与入射光束的偏振面成 45°角; 而且会产生光束偏向和一定的分束角, 从而造成了使用上的诸多不便。本文研究的单色光石英退偏器克服了以上缺点, 适合实际光路的使用; 本文就单色光石英退偏器的退偏机理及退偏性能进行研究, 以对器件的设计和使用提供原理和实验上的依据。

2 退偏机理分析

单色光石英退偏器是由结构角 β 相同的左、右旋石英晶体棱镜组合而成(如图 1 所示); 两部分的晶体光轴均与两通光端面垂直。建立如图 1 所示的直角坐标系, 显然 z 轴即是晶体光轴的方向。

单色光石英退偏器的哪端为左旋(或右旋)石英晶体并不重要, 关键是两晶体棱镜的旋光性质必须相反。我们设光的入射端(左端)为左旋晶体, 出射端为右旋晶体。

设一电矢量振动方向与 x 轴成 θ 角, 且光束截面 $\Delta S \rightarrow 0$ 的线偏振光从左端垂直入射于单色

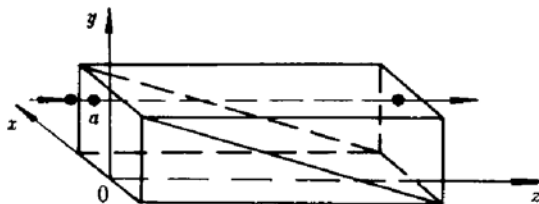


Fig. 1 Structure of the monochromatic crystalline quartz depolarizer

光石英退偏器的 $a(x, y, 0)$ 点。入射光的斯托克斯矢量为

$$S_{in} = \begin{bmatrix} 1 \\ \cos 2\theta \\ \sin 2\theta \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

由于光在退偏器中是沿石英晶体的光轴传播，因此退偏器表现为旋光器的作用，它的米勒矩阵为^[9]

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 2\omega & -\sin 2\omega & 0 \\ 0 & \sin 2\omega & \cos 2\omega & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

那么入射的线偏振光经过单色光石英退偏器后的斯托克斯矢量为

$$S_{out} = M \cdot S_{in} = \begin{bmatrix} 1 \\ \cos 2(\omega + \theta) \\ \sin 2(\omega + \theta) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中 ω 为这一线偏振光电矢量振动方向旋转的角度，它由下式给出

$$\omega = (d_1 - d_2)\alpha \quad (4)$$

α 是石英晶体的旋光系数，它是光波长的函数，且与光波长成反比， d_1, d_2 分别为光在前、后晶体棱镜中传播的距离。

(3) 式表明，一线偏振光经过单色光石英退偏器后仍是线偏振光，但是电矢量的振动方向相对于入射光旋转了 ω 角。

有一定截面大小的一束线偏振光(电矢量振动方向仍与 x 轴成 θ 角)，经过退偏器后的状态又怎样呢？首先分析在退偏器入射端面不同点的入射光经退偏器后电矢量振动方向的旋转有什么不同。

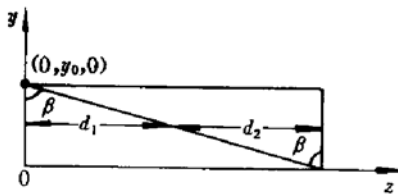


Fig. 2 Cutaway view of the depolarizer
 β is the structural angle

由图 1 和 (4) 式容易看出，光在退偏器两晶体棱镜中的传播距离 d_1, d_2 与入射点的 x 坐标无关，而只与 y 坐标有关。因此为简明起见，将图 1 沿 yz 平面切开，即得到如图 2 所示的平面图，图中 y_0 是退偏器通光端面的高。

由入射于任一点 $(0, y, 0)$ 的一光线在退偏器中的光路可得

$$\begin{aligned} d_2 &= y \operatorname{tg} \beta \\ d_1 &= (y_0 - y) \operatorname{tg} \beta = y_0 \operatorname{tg} \beta - d_2 \end{aligned} \quad (5)$$

将(5)式代入(4)式得

$$\omega = \alpha(y_0 - 2y) \operatorname{tg} \beta \quad (6)$$

再将(6)式代入(3)式得到

$$S_{\text{out}} = \begin{bmatrix} 1 \\ \cos 2\{[\alpha(y_0 - 2y)\text{tg}\beta] + \theta\} \\ \sin 2\{[\alpha(y_0 - 2y)\text{tg}\beta] + \theta\} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

对于某一单色光和确定的单色光石英退偏器而言, α, y_0, β 都是常数, 那么(7)式表明, 对于垂直入射的一电矢量振动方向与 x 轴成 θ 角的单色线偏振光, 经单色光石英退偏器后, 电矢量的振动方向相对于入射光旋转的角度是它在退偏器中 y 坐标的函数; 对于有一定截面大小的单色线偏振光束, 经过单色光石英退偏器后, 得到的是电矢量的振动方向沿 y 坐标连续变化的光的混合, 由此达到了退偏的效果。

3 退偏性能测试

3.1 测试装置及测试方法

测试装置如图 3 所示。光源 S 为钨丝白炽灯, L 为凹面聚光镜, 它将光会聚进入单色仪 M , 由 M 出射的单色光, 经起偏器 P 成为线偏振光, R 是光阑, DP 为单色光石英退偏器样品, 线偏振光经退偏器退偏, 然后经过检偏器 A 到达光功率计 PW 。检偏器可以绕光轴线连续旋转。光探测器为硅探头, 它的偏光灵敏性极小, 在该实验中完全不影响偏光能量的探测精度。单色仪出射光的总发射角小于 3° , 因此我们按准直光处理。

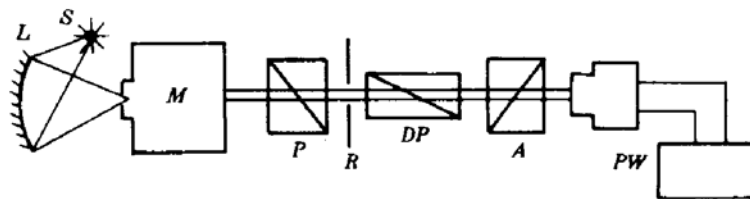


Fig. 3 Measuring equipment

S : light source, L : concave mirror, M : monochromator, P : polarizer,
 R : aperture, DP : sample, A : analyzer, PW : powermeter

测试方法如下, 首先确定光阑形状和大小, 然后选定测试光波长, 旋转检偏器, 光功率计测得的光功率随之连续变化, 当检偏器旋转一周时, 光功率出现两个极大值 I_{B1} 和 I_{B2} , 两个极小值 I_{L1} 和 I_{L2} 取测得的最大、最小光功率为

$$\begin{aligned} I_{\max} &= (I_{B1} + I_{B2})/2 \\ I_{\min} &= (I_{L1} + I_{L2})/2 \end{aligned} \quad (8)$$

我们把测得的最小光功率和最大光功率之比定义为单色光退偏器在确定的波长和测试条件下的退偏度, 即

$$P_t = (I_{\min}/I_{\max}) \cdot 100\% \quad (9)$$

退偏度 P_t 是定量描述退偏器件退偏性能的物理量。

3.2 测试结果与讨论

使用高 6.5 mm(图 3 中光阑平行于纸面的边), 宽 5.5 mm(图 3 中光阑垂直于纸面的边)的矩形光阑, 测量了三只不同结构角的单色光石英退偏器对单色线偏振光的退偏性能, 获得的

退偏度与光波长的关系曲线如图 4 所示。

图 5 是使用方形(5×5 mm²)和圆形(φ 5 mm)两种形状的光阑,得到的结构角为 60°的单色光石英退偏器的退偏度与光波长的关系曲线。

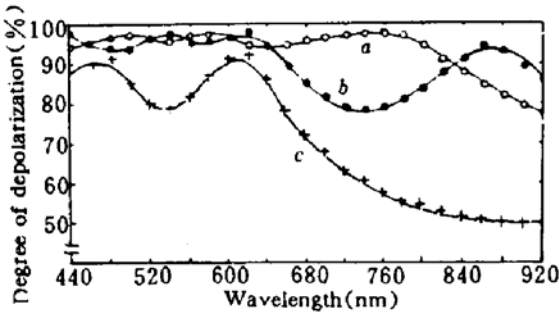


Fig. 4 Curves of depolarization degree of the depolarizer versus wavelength

(a) $\beta = 71.5^\circ$; (b) $\beta = 60^\circ$; (c) $\beta = 45^\circ$

使用 580 nm 的单色线偏振光,分别固定矩形光阑的宽度(5.5 mm)和高度(6 mm)不变,改变光阑的高度和宽度,测得的结构角为 71.5°的单色光石英退偏器的退偏度与光阑高度和宽度的关系曲线如图 6 中 *f*, *g* 所示。

设入射光束矩形截面上、下边沿的 *y* 坐标是 y_1 和 y_2 ,那么由(6)式可得光束的上、下边沿电矢量振动方向的旋转角之差为

$$\Delta\omega = 2\alpha\Delta y \tan\beta \quad (10)$$

式中 $\Delta y = y_2 - y_1$; Δy 即为光束(测试中光阑)的高度。

若入射光的光强在整个光束截面上的分布是均匀的,那么对矩形截面线偏振光束通过退偏器而言,当满足 $\Delta\omega = n\pi$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) 时,就出射光束的整个截面而言,光的振动方向均匀分布。图 3 中的检偏镜旋转时,测得的光功率应没有变化,退偏度有极大值 100%;而当 $\Delta\omega = (n + 1/2)\pi$ 时,退偏度有极小值;一般情况下, n 越大,退偏度的波动越小。由于(10)式中的 $\Delta\omega$ 与旋光系数 α , 矩形光束截面高度 Δy 以及退偏器的结构角 β 均有关且成正比,所以在我们的测试中,尽管光强的分布不是理想均匀的,但图 4,图 5 中的每一条曲线均反应了光波长(即旋光系数 α) 对器件退偏度的影响,在此我们称之为退偏度色散;把图 4 中的三条曲线作比较,则反应了器件结构角 β 对退偏度的影响;图 6 中的曲线 *f* 反映的是矩形光束截面高度 Δy 对退偏度的影响。图 6 中曲线 *g* 基本上是一条水平直线,而曲线 *f* 有规律变化的事实,进一步从实验上证实了以上对线偏振光通过退偏器后其电矢量振动方向的旋转只是图 1 中 *y* 坐标(即光束高度)的函数,而与 *x* 坐标(即光束宽度)无关的分析。

比较图 5 中的两条曲线可见,入射光束截面的形状对单色光石英退偏器的退偏效果没有明显影响,只是改变了退偏度的极值所对应的光波长。

以上结果表明:就退偏的平均效果而言,大结构角器件优于小结构角器件;对短波长的单色线偏振光的退偏较长波长容易;当一只单色光退偏器用于对某一波长的线偏振光退偏时,只

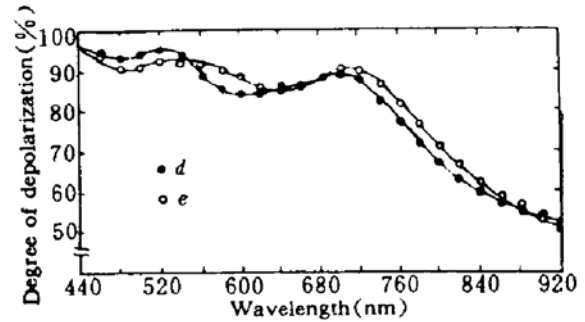


Fig. 5 Comparison of the effect of the rectangular (curve *d*) and circular (curve *e*) beams on depolarization degree

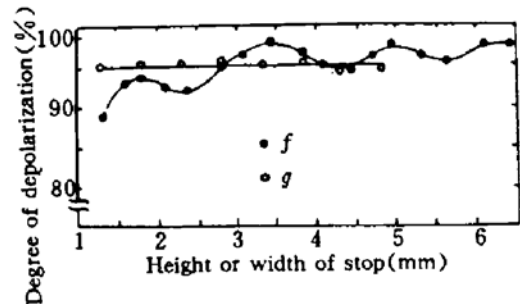


Fig. 6 The effect of height (curve *f*) or width (curve *g*) of the beam on depolarization degree

要适当调整光束截面大小,就可获得很好的退偏效果。

单色光石英退偏器对椭圆偏振光也能很好地退偏,而对于圆偏振光则无效。

参 考 文 献

- 1 A. Hidalgo, J. Pastor, J. M. Serrasa. Effect of polarization in the distribution of energy diffracted by gratings. *J. Opt. Soc. Am.*, 1962, **52**(9): 1081~1082
- 2 V. I. Korneev, A. M. Tareer. Effect of polarization on the optical transfer function of roof prisms. *Sov. J. Opt. Technol.*, 1986, **53**(7): 28~30
- 3 李国华,于德洪,许福运等.光栅单色仪和光电倍增管的偏振效应. *光谱学与光谱分析*, 1990, **10**(5): 53~55
- 4 A. D. Loeber. Depolarization of white light by birefringence crystal. I. The Lyot depolarizer. *J. Opt. Soc. Am.*, 1982, **72**(5): 650~656
- 5 Fuyun Xu. A new type of depolarizer of magnesium fluoride. *Soc. Opt. Eng.*, 1992, **1752**: 315~316
- 6 R. Wetzel. A depolarizer for poly-and monochromatic light of any desired wavelength. *Optic*, 1987, **76**(4): 189~191
- 7 W. K. Burns. Depolarization in the Lyot depolarizer. *J. Lightwave Technol.*, 1983, **LT-1**(3): 475~479
- 8 J. L. Jackel, K. Y. Lee, F. J. Favire. Do glass waveguides depolarizer. *J. Lightwave Technol.*, 1985, **LT-3**(4): 818~819
- 9 龙槐生,张仲先,谈恒英.光的偏振及其应用.第一版,北京:机械工业出版社,1989. 260

Study of Depolarization Mechanism and Performances of a Monochromatic Light Crystalline Quartz Depolarizer

Wu Fuquan Li Guohua Huang Jiayin Feng Taizhong Dai Zuoxiao

(*Laser Institute, Qufu Normal University, Qufu 273165*)

Abstract In this paper, the depolarization mechanism of a monochromatic light crystalline quartz depolarizer is studied. The depolarization degree, which is a physical parameter that shows the depolarization character of a depolarizer, is defined. The depolarization degree is measured in the spectrum region of 440~920 nm. The results show that if the structural angle of the depolarizer is suitable or the size of the incident ray is suitably controlled, the best depolarization can be achieved for a linearly polarized light.

Key words monochromatic light crystalline quartz depolarizer, depolarization degree